

오조작으로 인한 화학공정 위험상태 방지시스템

안대명, 황규석, *윤인섭

부산대학교 공과대학 화학공학과, * 서울대학교 공과대학 화학공학과

An expert system for preventing hazardous conditions due to misoperation in a chemical plant

Dae-Myung An, Kyu-Suk Hwang, *En-Sup Yoon

Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Pusan National University

* Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Seoul National University

1. 서론

화학공정의 비정상 조업시 공정상태를 안전하게 목적하는 상태로 운전하기 위하여 운전자가 인식하고 있는 대상공정에 대한 경험적인 지식에 크게 의존하게 된다. 그러나 숙련된 운전자라도 경험하지 못한 상황에서는 빠른 시간내 공정의 상태를 인식하여 적절한 조작을 결정한다는 것은 대단히 힘들뿐 만 아니라, 운전자의 부정확한 추론에 의하여 오조작에 따른 대형재해를 유발시킬 수 있다. 따라서 비정상 조업시 운전자의 부담을 줄이고, 일관된 운전조작으로 화학공정 운전의 안전성을 확보하기 위하여 자동화된 운전지원 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 단순하고 직접적인 위험상황을 포함하여 실제 공정에서 일어날 수 있는 광범위한 위험상황을 CHECK하고, 운전자의 오조작에 의하여 발생할 수 있는 위험사고를 미리 방지할 수 있는 시스템 개발을 목표로 한다.

2. 화학공정의 위험상태 평가를 위한 지식 표현법

2-1. 화학공정의 상태의 표현

대상 플랜트의 결합구조를 밸브 이외의 기기장치를 NODE로, 파이프를 ARC로 나타낸 유향 그래프(signed directed graph, SDG)로 표현하고, 화학공정의 일반적인 상태를 다음과 같이 표현한다.

1) PATH : PATH는 공정내 물질이 실제로 흐를 수 있는 경로를 나타내며, FLOW-PATH와 LOOP형태의 CIRCUIT-PATH의 2종류가 있으며, 상류측에서 하류측으로 흐르는 ARC 순으로 표현하였다.

2) ARC : ARC상의 VALVE의 ON/OFF관계(APVAL)로 ARC의 개폐를 표현하고, ARC내 유체의 상태를 표현하였다.

3) NODE : NODE는 각 고유의 기능을 가진 기기장치를 나타내며, NODE의 입출력 관계, 작동전 제약조건, 운전 제약조건, 현재의 상태 등을 포함시켜 표현하였다. 또, NODE에는 UTILITY 고유기능의 입출력 관계(FUNCOP)를 기능연산물에 의하여 표현하였다. (Fig.1) 기능연산물이란 NODE의 입출력관계를 인과관계로 표현하며, IF부의 입력상태에 따른 THEN부의 출력상태를 일대일 대응하여 표현하였다.

2-2. 공정의 제약조건 및 위험상태 표현

화학공정의 운전시 발생할 수 있는 위험은 먼저 각 NODE의 기동에 앞서 필요한 사전 준비조건(장치의 작동전 제약조건), 공정운전시 기기장치가 가지는 운전허용범위(공정상 운전제약조건), 공정내 존재하는 물질상호 간의 혼합, 접촉에 의하여 발생할 수 있는 위험상태로 분류, 정리하였다.

또, 화학공정에서 화재, 폭발 등의 일반적인 재해로 발전가능성이 있는 일반적인 위험상태의 상태전이 GRAPH를 AND-OR-GATE로 NETWORK화(Fig.2) 시켜 표현하고 각 위험상황에 대한 지식베이스를 구축하였다.

- (NODE-NAME ((NAME unit name)
- (APVAL T or NIL, ON/OFF)
- (ARC input and output arc list)
- (FUN-UTILITY 장치운전을 위한 utility list)
- (PRE-OP-CONST 장치의 기동전 제약조건)
- (OP-CONSTRAINT 장치의 운전중 제약조건
- ((PHASE ...) (PRESS ...) (TEMP ...) (COMP ...)))
- (FUNCOP 장치의 기능을 표현하는 RULE BASE)))

Fig.1 The representation of NODE

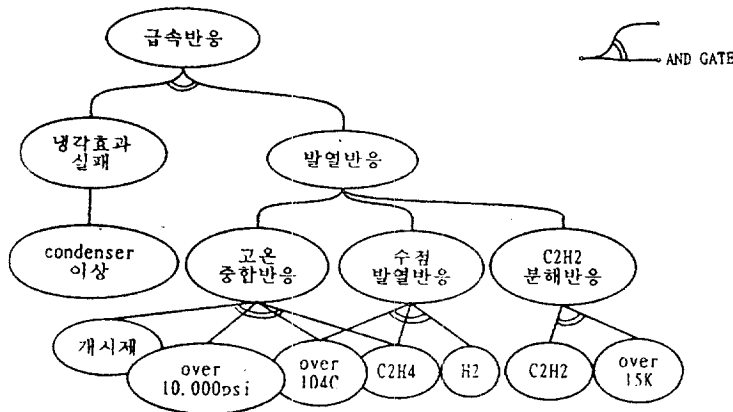


Fig.2 위험상태 전이 Network의 일부

3. 위험상태 발생 예측 시스템(HACOPS)의 개요

본 연구의 위험상태 발생 예측 시스템(Hazardous COnditions Predicting System, HACOPS)은 5개의 MODULE로 구성되어 있으며(Fig.3), PC상의 COMMON LISP로 작성되었다.

- 1) DATAIN.LSP : 대상공정의 결합구조 및 기기장치에 관한 DATA, 초기상태 등의 대상 플랜트 고유의DATA를 등록하는 MODULE.
- 2) ACTION.DAT : START-UP, SHUTDOWN 등 운전원의 조작명령을 가상적으로 지시하는 MODULE.
- 3) HAZARD.LIB : 앞장에서 서술한 각종 위험상태를 분류, 정리한 화학공정의 위험특성 DATA BASE.
- 4) PROCESS-STATE-SIMULATOR : ACTION.DAT에서 주어진 공정장치의 조작명령에 따른 대상공정의 상태변화를 모사하는 MODULE.
- 5) SAFETY-EVALUATOR : 공정상태모사기의 결과에 대하여 화학공정 위험특성 DATA BASE를 사용하여 조작에 따른 공정내의 위험상태발생 가능성을 결정하는 MODULE.

4. 조작에 따른 공정상태 모사 및 위험상태 판별방법

1) 공정상태 모사방법

본 연구에서는 공정의 상태모사를 위해 기능연산물을 이용한 FORWARD CHAINING REASONING METHOD를 사용하였다.

기능연산물은 ARC의 대응관계인 AR 및 DEL, PT 등의 특수기능을 포함한다. 이런 특수기능은 화학공정의 특수성에 의해 발생하는 것으로, 예를 들어 DEL은 DRYER와 같이 유입물질에 대하여 특정물질을 제거하여 출력시킨다는 것을 의미한다. 또 PT(PASS THROUGH)는 입력조건이 출력조건으로 그대로 전달된다는 것을 의미한다.

모사는 IF부의 UTILITY의 작동상태 및 입력 ARC의 상태변수 값이 대상공정의 현재의 상태와 일치하는 룰을 검색하여 THEN부의 UNIT상태 및 각종 특성을 고려하여 변화시켜 나간다. 해당되는 룰이 여러개일 경우는 발생가능한 위험상태를 모두 검토하기 위하여 모사된 상태에 계속하여 추가하여 기록하였다.

2) 위험상태 판별법

① 장치의 작동전 제약조건

공정장치의 경우 장치가 기동되기 전 준비되어야할 작동 준비조건으로 장치의 기동시 안전성 여부를 판별한다. 장치의 기동전 제약조건으로는 장치의 기능을 수행하기 위한 기능 유틸리티의 작동유무, 유체의 흐름 경로인 OPEN-PATH 조건의 성립 및 기타 조건으로 구분하여 체크한다.

② 장치의 운전 제약조건

운전자에 의해 선택된 OPERATION에 대하여 모사된 대상공정 상태의 결과가 NODE의 "OP-CONSTRAINT"에 정의된 각 장치의 운전 허용범위를 벗어나는지를 체크한다.

③ 공정내 물질의 혼합, 접촉에 의한 위험조건

모사된 결과의 "COMP"항목의 값을 미리 정의해 둔 룰(MIX-RULE)과 비교하여 위험성을 판별한다. MIX-RULE의 IF부에 있는 위험물질 리스트를 "COMP"항목값과 비교하여 "COMP"에 모두 존재하면(ALL-EXIST), "UNSAFE"를 알리고 종료하게 된다. "SAFE"하면 다음룰을 선택하여 반복하여 체크하게 되고, 모든 룰이 만족되면 다음 단계로 넘어간다.

④ 위험상태 발생 가능조건

모사된 결과의 "COMP"뿐만 아니라 기타 조건들을 동시에 비교하고 룰의 단순 비교만 아니라 룰의 적용에 따라 현재 상태의 변화 가능성도 체크하게 된다. 위험상태 전이 NETWORK를 이용하여 작성된 HAO-RULE 모두를 현재의 상태와 비교하여 IF부의 조건이 만족된 룰의 THEN부를 차례로 "CURRENT"에 추가하여 "CURRENT"에 "HAZARD-CONDITION"이 발견되면 "UNSAFE"를 알리고 종료하게 된다.

5. 위험상태 발생 예측시스템의 적용예

시스템의 유효성을 검증하기 위하여, 석유화학공업의 주요 원료제조 프로세스인 에틸렌 플랜트의 DEPROPANIZER 주변의 SUBPROCESS에 적용시켜 그 결과를 평가하였다.

C4이하의 가스상의 성분은 COMPRESSOR를 통하여 열교환기에서 냉각되고, DECANTER에서 기-액 분리되어 DRYER를 거쳐 증류탑에 공급된다. 탑정에서 나오는 C3이하의 성분은 2단의 열교환기를 거쳐 승온된 후, 다음단계로 보내어진다.

본 프로세스는 NODE 22개, ARC 25개로 구성되어져 있으며, 61개의 위험특성 RULE 및 모사를 위한 39개의 기능연산물을 사용하여 실행하였다.

(실행예)

[조작상황] : DRYER(E3)가 작동되지 않은 상태에서 DEPROPANIZER 입구의

FEED VALVE (V9)을 OPEN하는 경우.

[예측결과] : DEPROPANIZER내 "수분혼입"에 의한 공정제약조건 침범으로 "조작불가"를 알리고 재입력 요구.

시스템의 작동 상황을 대략적인 개요도로 Fig. 4에 나타내었다.

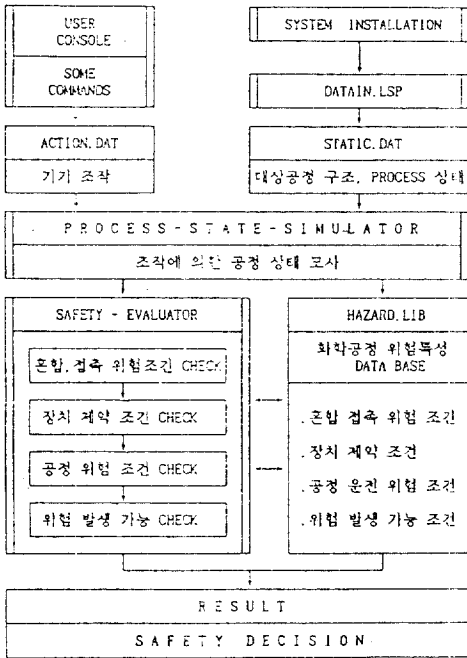


Fig. 3. 시스템(HACPOS)의 개요

6. 결과

본 연구에서는 화학공정의 비정상 조업시 운전원의 오조작을 방지하기 위한 운전지원 시스템을 개발하기 위하여 먼저, 공정을 NODE와 ARC의 유향그래프로 표현하고, 위험상태 전이 network를 이용하여 공정의 위험상태를 표현하였다.

또 선택된 조작에 따른 공정의 상태를 기능연산물을 사용하여 모사하고, 모사 결과 및 위험특성베이스를 사용하여 위험성을 평가하여 조작의 가능여부를 결정하는 일련의 시스템을 구축하여 대상공정인 에틸렌 플랜트에 적용하여 유효성을 검토하였다.

본 시스템을 사용하여 조작에 따른 공정의 상태를 빠르게 인식할 수 있으며, 이에 따른 오조작 방지 및 적절한 조작 결정을 지원할 수 있는 조업지원시스템의 개발이 가능해졌다고 생각된다.

참고문헌

1. Rivas, J.R., Rudd, D.F. and Kelly, L.R.: AIChE J., 20(2), 311(1974)
 2. S.Tomita, K.S.Hwang and E.O'ShIMA: J. Chem. Eng. Japan, 22(4), 364(1989)

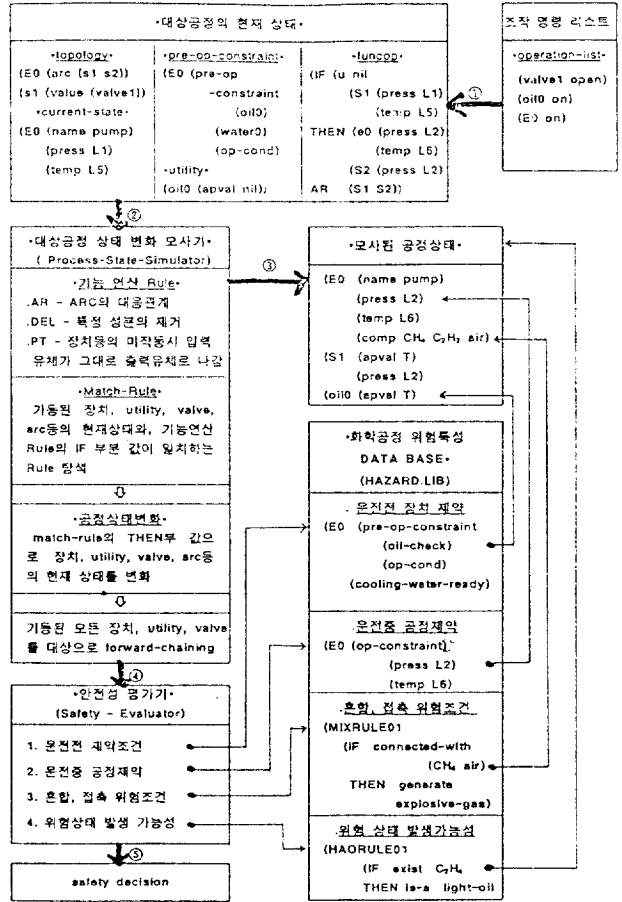


Fig. 4. 시스템의 작동 상황